МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 621.182.12 10.23947/1992-5980-2017-17-4-50-60

Совершенствование методов и устройств контроля содержания органических примесей в теплоносителе на ТЭС и ТЭЦ[*]

В. Н. Щербаков[1], М. С. Полешкин[2], В. И. Антоненко[3]**

[1, 2, 3] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Improvement of methods and devices for organic impurities control in the coolant at TPP and CHP [***]

V. N. Shcherbakov[1], M. S. Poleshkin[2], V. I. Antonenko[3]**

[1, 2, 3] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Рассматриваются вопросы повышения надежности исследования поведения органических примесей теплоносителя и оперативного контроля их концентраций на ТЭС и ТЭЦ. Выполнен анализ возможных причин появления органических веществ в питательной, котловой воде и в паре энергоустановок. Изучено поведение характерных примесей в жидкой и паровой фазах при высоких температурах.

Материалы и методы. Выполнен анализ существующих методов и устройств контроля содержания органических примесей теплоносителя в контурах ТЭС и ТЭЦ.

Результаты исследования. Предложены способы совершенствования существующих методов и устройств контроля с учетом их достоинств и недостатков. При контроле процесса термолиза потенциально кислых органических примесей в жидкой и паровой фазах рекомендовано использовать усовершенствованную авторами установку Всероссийского технологического института. При этом кондуктометрический контроль процесса термолиза в паровой фазе при различных температурах на прямоточных котлах следует вести по показаниям кондуктометрического охлаждаемого датчика, размещенного в контролируемом паре. Для упрощения исследования процесса перехода органических примесей из кипящей воды в насыщенный пар предложен метод одновременного измерения удельной электропроводности воды и конденсата пара в охлаждаемом кондуктометрическом датчике. Все это позволит получать объективную информацию о поведении органических примесей в пароводяном тракте энергоблоков, о ходе процесса термолиза и об источниках поступления опасных примесей в котел. Кроме того, с учетом результатов данной работы могут быть расширены возможности исследования поведения потенциально кислых веществ и контроля их содержания в воде и в паре.

Обсуждение и заключения. Усовершенствованные устройства контроля могут быть использованы в качестве дополнения к существующим для совместной работы в системах химико-технологического мониторинга энергоблоков. Предложен способ совершенствования систем регулирования режимов работы испарительных установок при термической очистке вод от органических примесей — главным образом с целью

Introduction. Issues of increasing the reliability of investigating the coolant’s organic impurities behavior and the operational control of their concentrations at TPPs and CHPs are considered. Possible causes of the organics occurrence in the boiler feedwater and in the steam of the power plants are analyzed. The behavior of typical impurities in the liquid and vapor phases at high temperatures is studied.

Materials and Methods. The analysis of the existing methods and devices for the organic impurities control in the coolant of the TPP and CHP circuits is conducted.

Research Results. Taking into account the advantages and disadvantages of the existing techniques and monitoring devices, methods of their improvement are proposed. When monitoring the thermolysis process of the potentially acidic organic impurities in the liquid and vapor phases, it is recommended to use the installation of the All-Russian Technological Institute improved by the authors. In this case, the conductometric control of the thermolysis process in the vapor phase at different temperatures on the concurrent boilers should be carried out according to the readings of the conductometric cooled sensor placed in the controlled steam. A technique for the simultaneous measurement of the specific electric conductivity of water and steam condensate in the coolable conductivity sensor is proposed to simplify the study of the transition of organic impurities from boiling water to saturated steam. All this will allow obtaining the objective information about the organic impurities behavior in the water-steam circuit of the power units, the thermolysis process, and the sources of hazardous impurities flow into the boiler. Besides, taking into account the results of this work, the researchability of the behavior of potentially acidic substances and monitoring of their content in water and steam can be enhanced.

Discussion and Conclusions. The advanced control devices can be used as a supplement to the existing ones for joint operation in the chemical and technological monitoring systems of the power plants. A method for improving the operating modes control systems of the evaporator plants under the thermal treatment of water from organic impurities, mainly to reduce the content of potential-

[*]Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

[**]E-mail: vladnik48@aaanet.ru, poleshkin.maks@gmail.com, viantonen@mail.ru

[***]The research is done within the frame of the independent R&D.

снижения содержания потенциально кислых веществ в паре и конденсате установок. Для этого рекомендовано использовать ранее разработанные авторами датчики контроля.

ly acidic substances in steam and condensate of the plants, is proposed. For this purpose, it is recommended to use the control sensors previously developed by the authors.

Ключевые слова: качество теплоносителя, органические примеси, поведение, методы контроля, анализ, совершенствование, ТЭС, ТЭЦ.

Keywords: coolant quality, organic impurities, behavior, monitoring methods, analysis, improvement, TPP, CHP.

Образец для цитирования: Щербаков, В. Н. Совершенствование методов и устройств контроля содержания органических примесей в теплоносителе на ТЭС и ТЭЦ / В. Н. Щербаков, М. С. Полешкин, В. И. Антоненко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2017. — Т. 17, № 4. — С. 50–60.

For citation: V.N. Shcherbakov, M.S. Poleshkin, V.I. Antonenko. Improvement of methods and devices for organic impurities control in the coolant at TPP and CHP. Vestnik of DSTU, 2017, vol. 17, no.4, pp. 50–60.

Введение. Технико-экономические показатели ТЭС и ТЭЦ в значительной мере зависят от степени чистоты воды и пара, определяющей качество теплоносителя, в котором наряду с минеральными присутствуют органические примеси (ОП). При высоких температурах *T* часть органических соединений разлагается с образованием кислот и их солей, уменьшая значение *pH* питательной, котловой воды и пара. Поэтому с появлением ОП в теплоносителе происходит усиление коррозионных процессов в элементах проточной части пароводяного тракта котельных агрегатов и турбин [1, 2]. При взаимодействии кислот с ионами железа на внутренних поверхностях теплосилового оборудования могут появляться отложения органических соединений. Количество коррозионно-опасных соединений зависит от вида примесей. При высоких параметрах состояния поведение органических соединений изучено не так полно, как неорганических [2]. В настоящее время за рубежом при контроле количества ОП в контурах энергоблоков ориентируются на количество общего неорганического и общего органического углерода [3, 4]. На отечественных электростанциях широкое применение приборов для измерения содержания общего органического углерода *TOC* (*Total Organic Carbon*) ограничивается их высокой стоимостью [5]. В работах [4, 6], выполненных в лабораторных условиях и на действующих ТЭС и ТЭЦ, для контроля содержания ОП предлагаются менее дорогостоящие методы, основанные на результатах кондуктометрических и оптических измерений, связанных с величиной показателя *TOC*. Однако для рациональной организации и ведения водно-химических режимов (ВХР) энергоблоков необходимы данные о поведении ОП в пароводяном тракте энергоблоков и характере молекулярных изменений, происходящих в жидкой и паровой фазах теплоносителя. Перечисленные выше методы такой информации не дают.

Целью настоящей работы является повышение надежности методов исследования поведения ОП теплоносителя и средств оперативного контроля их концентраций на ТЭС и ТЭЦ. Этой цели служат предлагаемые усовершенствованные методики исследования поведения ОП, основанные на анализе:
— возможных причин появления ОП в питательной, котловой воде и в паре;
— поведения ОП в пароводяном тракте;
— методов и устройств контроля содержания ОП в жидкой и паровой фазах теплоносителя.

Кроме того, с учетом поставленной цели рекомендованы средства оперативного контроля концентраций ОП.

Источники ОП. Источниками поступления органических веществ в питательную воду энергетических котлов являются:
— основные конденсаты;
— добавочная вода из бака запаса конденсата;
— возвратные конденсаты ТЭЦ;
— органические реагенты для коррекционной обработки воды, консервации и отмывки теплосилового оборудования [2, 4].

В основной конденсат ОП поступают с нефтепродуктами, частицами ионитов блочных обессоливающих установок (БОУ), с присосами охлаждающей воды конденсаторов турбин и сетевой воды в сетевых подогревателях. Природные воды, использующиеся для охлаждения пара в конденсаторах турбин, могут содержать ОП техногенного происхождения, связанные со сбросом сточных вод предприятий, и примеси, вымываемые из почв [2]. Основным компонентом примесей природных вод являются гумусовые вещества, содержащие разнообразные ароматические, фенольные и карбоксильные группы. Гуминовые кислоты могут образовывать устойчивые комплексные соединения, которые не задерживаются системами очистки конденсата и добавочной воды [2, 7]. При хлорировании охлаждающей воды могут образовываться термически неустойчивые неионогенные хлорорганические соединения (хлороформ, тэтрахлорэтилен и др.) [1, 7]. При работе водоподготовительного оборудования из ионитов конденсатоочистки отечественного производства вымываются такие органические примеси, как дивинилбензол (мономер), алкилбензосульфат, полиэтиэтиламины, этилхлоргидрин, формальдегид и др. [2, 3]. Из катионитов в фильтрат попадают фториды, хлори-

ды, сульфаты, ацетаты и формиаты [8]. При водоподготовке на ТЭС и ТЭЦ в процессах коагуляции используют полиэлектролиты органического происхождения (полиаминовые, полиакриловые, полималеиновые кислоты и др.), которые могут попадать в пароводяной тракт [2].

Поведение ОП при высоких температурах. С повышением температуры органические соединения в жидкой фазе подвергаются термолизу и гидролизу. Часть образующихся низкомолекулярных соединений повышает коррозионную агрессивность теплоносителя [2, 3, 4]. На основании экспериментальных исследований установлено, что при разложении ОП, содержащихся в природной воде, образуются ацетаты, формиаты, гликоляты, пропионаты, значительно возрастает концентрация хлоридов [9]. В паровой фазе появляются H_2 и CO_2. При наличии присосов охлаждающей хлорированной воды в конденсаторах турбин с повышением температуры идет термолиз хлорорганических соединений (например, хлороформа) с образованием соляной и муравьиной кислот [10]. Муравьиная кислота полностью разлагается при $T = 558K$ с образованием CO_2 и H_2 [2]. Ранее авторы представленной работы совместно со Всероссийским теплотехническим институтом (ВТИ) выполнили экспериментальное исследование термолиза в водной среде хлорорганических примесей возвратных конденсатов ТЭЦ дихлорэтана $C_2H_4Cl_2$ и четыреххлористого углерода CCl_4 [11]. Термолиз $C_2H_4Cl_2$ и CCl_4 начинался при 413K и быстро заканчивался в интервале 413–473К с образованием соляной кислоты (рис. 1).

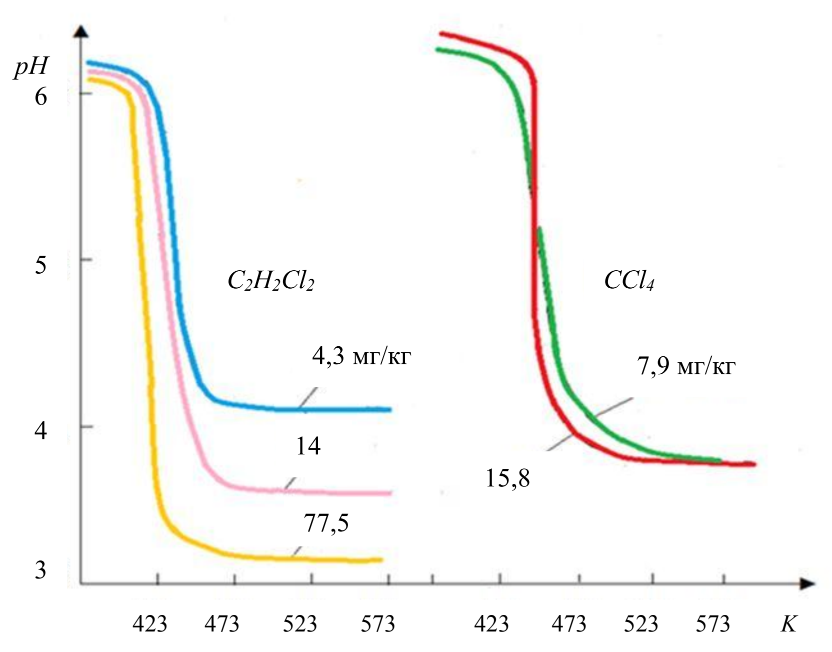


Рис. 1. Изменение значений pH растворов $C_2H_4Cl_2$ и CCl_4 от температуры на линии насыщения

Fig. 1. Change in pH values of C2H4Cl2 and CCl4 solutions on the temperature at saturation line

Продукты разложения высокомолекулярных органических соединений, образующиеся в высокотемпературной зоне пароводяного тракта, являются наиболее коррозионно-агрессивными [2]. В результате экспериментальных исследований, выполненных в ВТИ В. Н. Ходыревым с сотрудниками [12], установлено, что процесс термолиза органических соединений активизируется с увеличением содержания кислорода в воде. При термолизе гумусов в питательной воде котлов появляются муравьиная, молочная, уксусная (или оксиуксусная) кислоты в примерном соотношении 2:1:1.

В перегретом паре появляется уксусная кислота в количестве намного большем, чем в питательной воде. При попадании продуктов пептизации и пылевидных фракций ионитов в пароводяном тракте ТЭС появляются минеральные кислоты. Летучие органические вещества гумусового происхождения и продукты неполной полимеризации стирола и дивинилбензола не являются потенциально кислыми веществами (ПКВ), в результате термолиза которых могут образовываться кислоты. Анионы органических кислот беспрепятственно проходят через фильтры блочных обессоливающих установок в виде комплексов с ионами железа, появляющимися на поверхности сильнокислотного катионита, находящегося в H-форме. В контурах ТЭС с барабанными котлами при $P = 15{,}5$ МПа в питательной, котловой, добавочной воде, в насыщенном, перегретом паре и в турбинном конденсате авторы [13] обнаружили хлороформ, ароматические углеводороды с молекулярной массой 80–120 условных единиц (бензол, толуол и др.), фенол, двухосновные фенолы, органические основания, органические кислоты (уксусная, муравьиная и др.) и нейтральные соединения. Большая часть ОП относится к летучим соединениям, которые хорошо переходят из воды в пар. Например, при $P = 15{,}5$ МПа видимые коэффициенты распределения $К_р^{вид}$ таких соединений, как хлороформ, хлористый метилен, дихлорметан, органические основания, нейтральные соединения, ароматические углеводороды равны 1,58; 2,82; 1,33;

0,43; 0,68 и 0,56 соответственно [2]. Присутствие органических соединений в воде приводит к увеличению $К_р^{вид}$ коррозионно-агрессивных хлоридов и сульфатов [2, 7]. При P = 10 МПа в условиях бескоррекционного ВХР $К_р^{вид}$ хлоридов возрастает на 3–4 порядка, а у сульфатов — в 10 раз в присутствии CH_3COOH [7, 14]. При гидразино-аммиачном ВХР наблюдается увеличение $К_р^{вид}$ для хлоридов и сульфатов [2]. Известно, что в зоне фазового перехода от перегретого пара к влажному в турбинах образуются первичный конденсат и жидкие пленки, в которых концентрируются примеси. Это является причиной коррозионных повреждений лопаток и дисков турбин [1, 2, 4]. Концентрация ацетатов и формиатов в первичном конденсате и в жидких пленках в сотни раз превышает их концентрацию в паре [1, 2]. При аммиачном и кислородном ВХР *pH* в жидких пленках значительно уменьшается. Возрастает концентрация сульфатов и хлоридов [15]. В работе [16] при загрязнении теплоносителя органическими примесями вследствие попадания частиц ионитов в добавочную воду в паре и в первичном конденсате была обнаружена смесь органических кислот с наибольшим количеством уксусной кислоты.

Устройства и методы контроля. На многих ТЭС и ТЭЦ в России тепломеханическое оборудование эксплуатируется много лет и находится в изношенном состоянии [1]. В этих условиях особая роль отводится решению задач, связанных с повышением надежности парогенераторов и турбоустановок. Учеными установлено, что до 60 % случаев выхода из строя оборудования связано с нарушением ВХР [17]. При ведении ВХР решается задача обеспечения качества теплоносителя в соответствии с нормируемыми показателями. Для своевременной оценки и корректировки показателей ВХР в последние годы на ТЭС и ТЭЦ внедряются автоматические системы химико-технологического мониторинга (СХТМ) [1], эффективность которых зависит от адекватности методов и приборов контроля качества теплоносителя. При оперативном автоматическом контроле содержания растворенных неорганических примесей в воде и в паре учитываются показания *pH*-метров, кондуктометров и иономеров [18]. Контроль концентрации ОП в жидкой и паровой фазах сопряжен с значительными трудностями [6]. Показатель «окисляемость» не позволяет судить о составе и свойствах ОП. Использование показателя *TOC* не дает информации о свойствах ОП и поэтому не решает в полной мере проблемы контроля процессов водоподготовки и корректировки ВХР. Один блочный комплект анализаторов *TOC* сопоставим по стоимости со всей СХТМ энергоблока [5]. В 2009 году в ОАО «ВТИ» издан стандарт организации СТО ВТИ — 2009 [19], в котором учтено развитие мембранных технологий очистки воды и внедрение полиаминов для обеспечения ВХР. В нормы качества воды введен показатель *TOC*. В питательной воде котлов с естественной циркуляцией, котлов — утилизаторов парогазовых установок и прямоточных котлов содержание ОП ограничивается значениями *TOC* 200, 100 и 100 мкг/дм^3, что соответствует нормам, принятым в энергосистемах США, ФРГ и других стран [20, 21].

Широко распространены анализаторы *TOC*, в которых используется ультрафиолетовое окисление ОП, находящихся в воде, с последующим измерением удельной электропроводности χ воды до и после окисления. Такой принцип действия и у отечественного анализатора *TOC* «*ATOC*-200*S*», рекомендованного к применению на станциях в соответствии с стандартом СТО ВТИ — 2009.

В своих работах Н. А. Белоконова [6] измеряла величину светопропускания T_λ водных растворов, содержащих ОП природных вод, в ультрафиолетовом диапазоне длин волн. Была обнаружена обратно пропорциональная зависимость между значениями *TOC* и T_λ. Автоматические спектрофотометры являются относительно недорогими и простыми в использовании приборами. Следует отметить, что разные органические соединения имеют разные значения T_λ при одинаковом содержании органического углерода в водных растворах. Спектрофотометрический метод не является универсальным. Для получения обессоленной воды с минимальным количеством ОП Н. А. Белоконова предлагает следующее:

— определять содержание *TOC* в исходной воде в разные периоды года при помощи «базового» метода определения *TOC* на приборе-анализаторе и оценивать эффективность химической водоочистки (ХВО) по уменьшению *TOC*;

— определять количественное соотношение между величинами *TOC* и T_λ;

— для непрерывного оперативного контроля качества обессоленной воды и управления процессом водоподготовки использовать приборы автоматического спектрофотометрического контроля.

Существует расчетный метод определения концентрации ПКВ в воде прямоточных котлов в пересчете на уксусную кислоту ($C_{ук}$) [4], основанный на измерении χ *H*-катионированной пробы питательной воды и конденсата острого пара [4]. Метод базируется на предположении, что наиболее вероятным продуктом термолиза ПКВ является уксусная кислота [4, 7, 10, 22]. Однако при таком контроле невозможно судить о происхождении ПКВ, их природе, характере молекулярных изменений, происходивших в пароводяном тракте энергоблока (как было отмечено выше), а также о причинах изменения величины $C_{ук}$ и конкретном месте попадания ПКВ в пароводяной тракт.

С целью определения количественного показателя содержания ОП в пароводяном тракте и мест проникновения ОП авторы [23] предложили метод контроля содержания коррозионно-опасных ОП по величине отношения $\chi_{ОС} / \chi_{ПВ}$, где $\chi_{ОС}$ и $\chi_{ПВ}$ — удельная электропроводность проб острого пара и питательной воды. Дополнительно определяются отношения $\chi t_2 / \chi t_1$ значений удельной электропроводности проб на промежуточных участках пароводяного

тракта, где χt_2 и χt_1 — удельная электропроводность пробы в конце и в начале участка соответственно. Изменение χ контролируется в температурных диапазонах: 303–433 *К*; 433–553 *К*; 553–713 *К*; 713–818 *К*; 573–818 *К*. На испарительных участках котла отношение $\chi t_2 / \chi t_1$ не должно быть более 1,3, а на пароперегревательных участках — более 1,15. Указанные диапазоны температур соответствуют условиям работы соответствующего оборудования пароводяного тракта на ТЭС. Авторы [23] полагают, что контроль отношений электропроводностей проб воды и пара на отдельных участках пароводяного тракта позволяет определять возможные источники проникновения в тракт ОП и принимать своевременные меры по их полной или частичной ликвидации. Следует отметить, что при ведении ВХР в воде и в паре может присутствовать аммиак NH_3 и оказывать влияние на удельную электропроводность χ проб воды и пара [4]. В работе [4] отмечено, что на отечественных электростанциях предпринимаются попытки оценки количества ПКВ на основании результатов измерения удельной электропроводности и *pH* в питательной воде и паре прямоточных котлов [24, 25]. Присутствующие в воде примеси оказывают многофакторное влияние на χ и *pH*, поэтому такой метод оценки является малоинформативным [4].

В ВТИ разработана конструкция установки, предназначенной для термического разложения органических примесей возвратных конденсатов до попадания их в питательную воду котельных агрегатов [26]. Установка монтируется на линии возвратных конденсатов и в случае появления кислых продуктов термолиза с недопустимым значением *pH* потоки конденсата сбрасываются в резервные емкости для дальнейшей химической обработки. Преимущество этого метода контроля ПКВ заключается в том, что конструкцией установки предусмотрено моделирование условий термолиза органических примесей в жидкой фазе — в питательной воде, поступающей в котел при реальных температурах, существующих в котле, и в течение времени, равного времени пребывания в котле рассматриваемого объема жидкой фазы (480–900 с). Принципиальная схема установки, успешно прошедшей испытания на Нижнекамской ТЭЦ-1 и Ефремовской ТЭЦ, представлена на рис. 2.

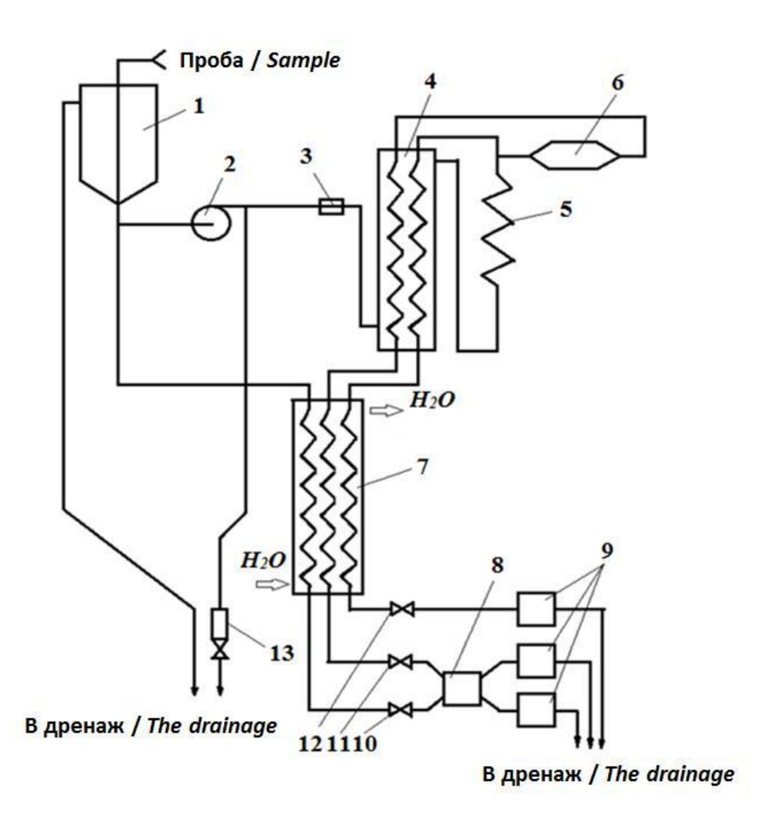


Рис. 2. Схема установки ВТИ для определения потенциально кислых примесей в возвратных конденсатах ТЭЦ

Fig. 2. Diagram of All-Russian Technological Institute installation for determination of potentially acidic impurities in return condensates of CHP

Возвратный конденсат из линии непрерывно подается в напорный бак 1. Из бака 1 при помощи плунжерного насоса-дозатора 2 через фильтр-дроссель 3, уменьшающий пульсации давления, конденсат подается под давлением 20 МПа в теплообменник 4 и нагревается теплом уходящих потоков до 473 *К*. Из теплообменника 4 конденсат направляется в трубку-нагреватель 5, по стенкам которой проходит электрический ток. На выходе из трубки 5 установлены две термопары — датчики системы контроля и регулирования температуры, благодаря чему температура конденсата равна температуре в котле. На выходе из нагревателя 5 поток конденсата делится на два: один направляется по линии «быстрого реагирования» в теплообменник 4, а второй — в реакционный сосуд 6. В реакционном сосуде 6 за счет увеличения площади поперечного сечения скорость потока уменьшается, что обеспечивает необходимую длительность воздействия высокой температуры на ПКВ. Из теплообменника 4 потоки линии «быстрого реагирова-

ния» и реакционного сосуда 6 направляются в теплообменник 7, где охлаждаются до 298 *К*. Потоки из бака 1 и реакционного сосуда 6 направляются из теплообменника 7 в измерительные ячейки дифференциального кондуктометра 8 и *pH*-метров 9. Поток из линии «быстрого реагирования» направляется через теплообменник 7 в измерительную ячейку *pH*-метра 9. Регулирование расхода конденсата на выходе из установки осуществляется при помощи задвижек 10, 11, 12. За насосом установлен клапан-регулятор 13, предохраняющий систему от превышения давления за счет удаления части пробы в дренаж. Линия «быстрого реагирования» позволяет быстро получать информацию о появлении ПКВ, когда термолиз еще не закончился. Дифференциальный кондуктометр 8 измеряет разность χ конденсата в двух линиях. В одной из них (в линии сравнения) конденсат не нагревается, а в другой проходит термическую обработку в нагревателе 5 и реакционном сосуде 6. Когда термолиз ПКВ идет с образованием NH_3, *pH* пробы увеличивается, что снижает эффективность контроля процесса термолиза по показаниям *pH*-метра. В этом случае контроль осуществляют по показаниям дифференциального кондуктометра 8. Давление и температура потока поддерживаются на установке в автоматическом режиме. Конструкция установки обеспечивает возможность получения экспериментальных данных о константах термолиза различных органических соединений в водных средах и об особенностях термолиза смесей органических веществ в водной среде. За время эксплуатации установки были обнаружены некоторые недостатки в ее конструкции. На долю насоса-дозатора приходилось наибольшее число остановов, связанных с течью сальников и ухудшением работы клапанов. Отложения железа препятствовали нормальной работе дросселя и выходных регулирующих задвижек, поэтому раз в две недели их чистили. Установка оказалась достаточно энергоемкой (1,5–2 кВт).

Совершенствование методов и устройств. На основании выполненного анализа представляется рациональным решение задачи эффективного непрерывного контроля концентрации ПКВ в возвратных конденсатах ТЭЦ и в питательной воде котлов на ТЭС и ТЭЦ путем совершенствования описанной выше установки ВТИ. С этой целью авторами разработана новая конструкция насоса высокого давления [27], в котором нет электродвигателя, редуктора, плунжера и сальников. Такой насос позволяет намного (на 1–1,2 кВт) снизить затраты электроэнергии, стоимость, габариты установки и повысить ее надежность. Фильтрация механических примесей улучшается за счет применения сменных пористых и электромагнитных фильтров. Снижение энергопотребления возможно и за счет уменьшения расхода анализируемой жидкости через установку. Результаты, полученные в ходе термолиза на установке, имеет смысл сравнивать на этапе аналитического исследования с показателями, полученными на анализаторе *TOC*. В качестве дополнительной информации имеет смысл сопоставление данных о χ и *pH* с результатами измерения величины светопропускания проб T_λ на спектрофотометре [6].

В котельном агрегате термолиз некоторых ПКВ начинается в жидкой фазе, а завершается в паровой при температуре пара, идущего на турбину. Поэтому представляет практический интерес создание экспериментальной установки, позволяющей оценивать степень термолиза этих веществ и в жидкой фазе, и в перегретом паре. Для этого В. Н. Щербаков предложил изменить конструкцию описанной установки, добавив вторую ступень, в которую подается часть воды, содержащей ПКВ, из точки отбора, расположенной за реакционным сосудом 6 по ходу движения потока. Во второй ступени происходит нагрев воды в трубке-нагревателе, подобной трубке 5, образование и перегрев пара. Поток перегретого пара направляется по трубке в теплообменник 4 для подогрева воды на входе в нагреватель 5 и снижения расхода электроэнергии при работе установки. Из теплообменника 4 поток направляется в холодильник 7, а затем — в измерительные ячейки дифференциального кондуктометра и *pH*-метра, установленные после задвижки, расположенной за холодильником 7. В качестве линии сравнения при измерениях дифференциальным кондуктометром может быть использована одна из линий с задвижками 10 или 11. Это позволит оценивать изменение χ и *pH*-проб конденсата перегретого пара по сравнению с χ и *pH*-пробами воды перед насосом 2 либо после реакционного сосуда 6. Таким образом появляется возможность исследования характеристик процесса термолиза ПКВ в жидкой и паровой фазах при различных температурах теплоносителя. Уменьшить влияние NH_3 можно за счет *H*-катионирования пробы перед измерением ее χ [4]. В условиях ТЭС и ТЭЦ при анализе результатов измерения χ и *pH* в линии сравнения с задвижкой 10 и в линии конденсата перегретого пара установки полученные данные имеет смысл сравнивать с результатами измерения χ *H*-катионированных проб питательной воды и острого пара.

Описанный выше метод авторов [23] позволяет определять количественный показатель содержания ПКВ в пароводяном тракте и места проникновения ПКВ. Для усовершенствования данного метода предлагается измерять χ при высоких температурах. С этой целью на линиях отбора проб пара в непосредственной близости от точек отбора необходимо установить размещенный в паровом объеме кондуктометрический датчик с охлаждаемым капилляром [28, 29]. При таком подходе отпадает необходимость в использовании пробоотборных линий значительной протяженности и устройств подготовки пробы. В этом случае инерционность процесса измерения снижается в сотни раз, значительно уменьшается влияние NH_3 на результаты измерения χ [29, 30].

Размещение датчика с охлаждаемым капилляром в паровом пространстве автоклава позволяет исследовать распределение ПКВ между кипящей водой и сухим насыщенным паром. В этом случае значения коэффициентов распределения $K_р^{вид}$ можно получить:

— на основании результатов химических анализов проб жидкой и паровой фазы;
— путем измерения χ кипящей воды, содержащей ПКВ, и χ конденсата пара в охлаждаемом датчике [31].

При этом, установив зависимость χ от от концентрации ионогенных примесей — продуктов термолиза ПКВ в жидкой фазе, можно определять $K_р^{вид}$ на основании результатов одновременного измерения χ кипящей воды, содержащей ПКВ, и χ конденсата пара в датчике.

В условиях повышенного содержания ОП в исходной воде исследователи предлагают новые подходы к решению задач на основании экономических расчетов. Принципы построения новой стратегии развития водоподготовки на ТЭС и ТЭЦ основаны на комбинированных технологиях обработки воды, включающих предочистку, ионитную обработку, мембранные и термические методы [7, 32]. Установлено, что при работе на расчетных режимах обеспечивается незначительный вынос органических веществ и продуктов их термолиза в пар и дистиллят отечественных испарительных установок ТЭС [32]. Уменьшить вероятность отклонения от расчетных режимов работы можно за счет совершенствования оперативного контроля и управления процессом генерации пара в испарителях. Необходимо повысить эффективность существующих систем автоматического регулирования. Это можно сделать за счет использования в новых системах регулирования разработанных авторами датчиков для измерения скорости циркуляции концентрата в опускной щели, уровня пены и кондуктометрического сигнализатора наличия жидкости в паре [33–36].

Непрерывный контроль содержания ПКВ в конденсате испарителей может осуществляться путем измерения χ и *pH*-продуктов термолиза в жидкой и паровой фазах на усовершенствованной установке ВТИ, описанной выше. На начальной стадии отработки методики контроля представляется необходимым сопоставлять полученные результаты с результатами измерения *TOC* и T_λ проб конденсата.

Заключение. Предложены способы совершенствования устройств и методов контроля качества теплоносителя ТЭС и ТЭЦ, содержащего ПКВ, позволяющие получать объективную информацию о поведении ПКВ в пароводяном тракте, о ходе процесса термолиза и об источниках поступления ПКВ в котел. Данный подход основан на анализе достоинств и недостатков существующих устройств и методов. Кроме того, результаты выполненной работы позволяют расширить возможности исследования поведения ПКВ в паровой фазе и контроля их содержания. Усовершенствованные устройства контроля могут быть использованы в качестве дополнения к существующим для совместной работы в СХТМ энергоблоков.

Предложен способ совершенствования систем регулирования режимов работы испарительных установок при термической очистке вод от органических примесей — главным образом с целью снижения содержания потенциально кислых веществ в паре и конденсате установок. Для этого рекомендовано использовать ранее разработанные авторами датчики контроля.

Библиографический список

1. Воронов, В. Н. Совершенствование водно-химических режимов и химконтроля на тепловых электростанциях / В. Н. Воронов, Т. И. Петрова // Теплоэнергетика. — 2010. — № 7. — С. 2–6.
2. Воронов, В. Н. Водно-химические режимы ТЭС и АЭС / В. Н. Воронов, Т. И. Петрова. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2009. — 238 с.
3. Об эксплуатации блочных обессоливающих установок на ТЭС сверхкритического давления / А. Б. Вайман [и др.] // Энергетика и электрификация. — 2008. — № 3. — С. 22–31.
4. Ларин, Б. М. Основы математического моделирования химико-технологических процессов обработки теплоносителя на ТЭС и АЭС / Б. М. Ларин, Е. Н. Бушуев. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2009. — 306 с.
5. Ларин, Б. М. Обеспечение водно-химического режима котлов суперсверхкритических параметров / Б. М. Ларин, А. Б. Ларин // Энергосбережение и водоподготовка. — 2013. — № 3 (83). — С. 19–23.
6. Белоконова, Н. А. Совершенствование методологии контроля и управления технологическими процессами подготовки воды на тепловых электростанциях : дис. … д-ра техн. наук / Н. А. Белоконова. — Екатеринбург, 2009. — 250 с.
7. Воронов, В. Н. Проблемы организации водно-химических режимов на тепловых электростанциях / В. Н. Воронов, Т. И. Петрова // Теплоэнергетика. — 2002. — № 7. — С. 2–6.
8. Bestimmung von Organischen Verunreinigungen in Leichtwasser Reaktoren / W. Hoffmann [et al.] // VGB Kraftwerkstechnik. — 1995.— Vol. 75, № 9. — P. 814–818.
9. Lepine, L. Characterization and thermal degradation of natural organic matter in steam-condensate cycles of CANDU-PHWR plants / L. Lepine, R. Gilbert // Physical chemistry of aqueous systems: Meeting the needs of industry : proc. 12-th ICPWS Conf. — New York : Begell House, 1995. — P. 824–831.
10. Поведение продуктов термолиза органических веществ в двухфазной области: кипящая вода — равновесный насыщенный пар / О. И. Мартынова [и др.] // Теплоэнергетика. — 1997. — № 6. — С. 8–11.

11. Термическое разложение органических примесей производственных конденсатов / В. А. Коровин и др. // Энергетик. — 1980. — № 5. — С. 24–25.

12. Продукты термолиза органических соединений и их сорбция ионитами БОУ / Б. Н. Ходырев [и др.] // Теплоэнергетика. — 1998. — № 7. — С. 20–24.

13. О поведении органических примесей в тракте тепловой электростанции с барабанными котлами / Т. И. Петрова [и др.] // Теплоэнергетика. — 1995. — № 7. — С. 20–25.

14. Видойкович, С. Исследование поведения сульфатов в пароводяном тракте энергетических установок : дис. … канд. техн. наук / С. Видойкович. — Москва, 2001. —114 с.

15. Петрова, Т. И Теоретический анализ и разработка рекомендаций для оптимизации водно-химических режимов тепловых электростанций : дис. … д-ра техн. наук / Т. И. Петрова. — Москва, 2001. — 46 с.

16. Organic Impurities and Organic Conditioning Agents in the Steam/Water Cycle: A Manufacturer´s Point of View / R. Svoboda [et al.] // Interaction of Organics and Organics Cycle Treatment Chemicals with Water, Steam and Materials : Int. Conference in Stuttgart, 4–6 October 2005. — P. 7.15–7.29.

17. Dooly, R.-B. Fossil plant cycle chemistry and availability problems / R.-B. Dooly // Cycle chemistry symposium : proc. — Midrand : ECOM ; EPRI, 1994. P. 22–25.

18. РД 153-34.1-37.532.4-2001. Общие технические требования к системам химико-технологического мониторинга водно-химических режимов тепловых электростанций / РАО «ЕЭС России». — Москва : ЗАО «Энергетические технологии», 2002. — 40 с.

19. Ларин, Б. М. Нормы качества водного теплоносителя и отраслевой стандарт по водоподготовке и водному режиму на ТЭС / Б. М. Ларин, А. Б. Ларин, А. Я. Сорокина // Энергосбережение и водоподготовка. — 2015. — № 4 (96). — С. 56–60.

20. Water-tube boilers and auxiliary installation. European standard EN 12952-12: 2003. Part 12: Requirement for boiler feed water and boiler water quality / European committee for standardization. — Brussel : CEN, 2003.— 17 p.

21. VGB-Standart. Feed water, Boiler Water and Steam Quality for Power Plants / Industrial Plants / Ed. VGB Power Tech e.V. — 3rd edition. — Essen : Verlag technisch-wissenschaftlicher Schriften, 2011. — 111 p.

22. Michal, A.-S. Minimizing levels of Volatile Organic Acids and Carbon Dioxide in Steam / A.-S. Michal, J. S. Kevin // Water circuits : Proc. Int. Conf. Interaction of Organic and Organic Cycle Treatment Chemicals with Water, Steam. — Stuttgart, 2005. — P. 115–119.

23. Способ контроля за содержанием коррозионно-опасных органических соединений в водопаровом тракте теплового энергоблока : патент 2231778 Рос. Федерация : G01N 27/06 / А. Б. Вайман, И. А. Малахов. — № 2002130228/28 ; заявл. 12.11.2002 ; опубл. 27.06.2004, Бюл. № 18. — 4 с.

24. Федосеев, Б. С. Современное состояние водоподготовительных установок и водно-химических режимов ТЭС / Б. С. Федосеев // Теплоэнергетика. — 2005. — № 7. — С. 2–9.

25. Мартынова, О. И. Поведение органики и растворенной углекислоты в пароводяном тракте электростанций / О. И. Мартынова // Теплоэнергетика. — 2002. — № 7. — С. 67–70.

26. Щербинина, С. Д. Установка для определения потенциально кислых органических веществ в возвратных конденсатах ТЭЦ / С. Д. Щербинина, В. А. Коровин, И. Б. Ковалёв // Водный режим барабанных котлов и испарительных установок : сб. науч. тр. / под ред. Р. Н. Гронского. — Москва : Энергоатомиздат, 1990. — С. 41–46.

27. Насос-дозатор : патент на полезную модель 140067 Рос. Федерация : F04B 13/00 / В. Н. Щербаков. — № 2013145924/02 ; заявл. 14.10.13 ; опубл. 27.04.14, Бюл. № 12. — 3 с.

28. Кондуктометрический датчик : а.с. 958943 СССР : G01N 27/02 / Д. Л. Тимрот [и др.]. — № 3248961 ; заявл. 16.02.81 ; опубл. 15.09.82, Бюл. № 34. — 3 с.

29. Щербаков, В. Н. Совершенствование кондуктометрического контроля качества конденсата пара при термической очистке вод / В. Н. Щербаков // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2013. — Т. 13, № 3/4 (72/73). — С. 117-124.

30. Щербаков, В. Н. Электролитические свойства растворов аммиака и кондуктометрический контроль качества теплоносителя ТЭС при высоких температурах и давлениях / В. Н. Щербаков, Г. А. Власков // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2013. — Т. 13, № 7/8 (75). — С. 140–147.

31. Щербаков, В. Н. Исследование электрофизических свойств водных теплоносителей при высоких параметрах : дис. … канд. техн. наук / В. Н. Щербаков. — Москва, 1980. — 204 с.

32. Гришин, А. А. Совершенствование технологии обработки воды, загрязненной органическими веществами, на тепловых электростанциях : дис. … канд. техн. наук / А. А. Гришин. — Москва, 2004. — 185 с.

33. Кататермометр : патент на полезную модель 154 875 Рос. Федерация : G01N 27/02 / В. Н. Щербаков [и др.]. — № 2015112438/28 ; заявл. 06.04.15 ; опубл. 10.09.15, Бюл. № 25. — 6 с.

34. Кондуктометрический сигнализатор уровня пены в испарителях : патент на полезную модель 115491 Рос. Федерация : G01N 27/02 / В. Н. Щербаков, С. В. Вихарев. — № 2011151036/28 ; заявл. 14.12.11 ; опубл. 27.04.12, Бюл. № 12. — 6 с.

35. Устройство для определения уровня и толщины слоя пены в испарителях : патент на полезную модель 153624 Рос. Федерация : G01F 23/24 / В. Н. Щербаков, Г. А. Власков. — № 2014151970/28 ; заявл. 22.12.14 ; опубл. 27.07.15, Бюл. № 21. — 5 с.

36. Кондуктометрический сигнализатор наличия жидкости в паре : патент на полезную модель 95403 Рос. Федерация : G01N 27/02 / В. Н. Щербаков. — № 2010105310 ; заявл. 15.02.10 ; опубл. 27.06.10, Бюл. № 18. — 6 с.

References

1. Voronov, V.N., Petrova T.I. Sovershenstvovanie vodno-khimicheskikh rezhimov i khimkontrolya na teplovykh elektrostantsiyakh. [Improvement of water-chemistry regimes and chemical control at thermal power plants.] Thermal Engineering, 2010, no. 7, pp. 2–6 (in Russian).

2. Voronov, V.N., Petrova T.I. Vodno-khimicheskie rezhimy TES i AES. [Water-chemistry regimes of TPP and CHP.] Moscow: MEI Publ. House, 2009, 238 p. (in Russian).

3. Weiman, A.B., et al. Ob ekspluatatsii blochnykh obessolivayushchikh ustanovok na TES sverkhkriticheskogo davleniya. [On operation of condensate purification plants at SCP.] Energetika i elektrifikaciya, 2008, no. 3, pp. 22–31 (in Russian).

4. Larin, B.M., Bushuev, E.N. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya khimiko-tekhnologicheskikh protsessov obrabotki teplonositelya na TES i AES. [Fundamentals of mathematical modeling of chemical and technological processes of coolant treatment at TPPs and NPSs]. Moscow: MEI Publ. House, 2009. — 306 с. (in Russian).

5. Larin, B.M., Larin, A.B. Obespechenie vodno-khimicheskogo rezhima kotlov supersverkhkriticheskikh parametrov. [Maintenance of water-chemical modes of boilers of ultrasupercritical parameters.] Energysaving and Watertreatment, 2013, no. 3 (83), pp. 19–23 (in Russian).

6. Belokonova, N.A. Sovershenstvovanie metodologii kontrolya i upravleniya tekhnologicheskimi protsessami podgotovki vody na teplovykh elektrostantsiyakh : dis. … d-ra tekhn. nauk. [Development of methodology of control and management of water treatment processes at thermal power plants: Dr.Sci. (Eng.) diss.] Yekaterinburg, 2009, 250 p. (in Russian).

7. Voronov, V.N., Petrova T.I. Problemy organizatsii vodno-khimicheskikh rezhimov na teplovykh elektrostantsiyakh. [Organization problems of water-chemical regimes at thermal power plants.] Thermal Engineering, 2002, no. 7, pp. 2–6 (in Russian).

8. Hoffmann, W., et al. Bestimmung von Organischen Verunreinigungen in Leichtwasser Reaktoren. VGB Kraftwerkstechnik, 1995, vol. 75, no. 9, pp. 814–818.

9. Lepine, L., Gilbert, R. Characterization and thermal degradation of natural organic matter in steam-condensate cycles of CANDU-PHWR plants. Physical chemistry of aqueous systems: Meeting the needs of industry: Proc. 12-th ICPWS Conf. New York: Begell House, 1995, pp. 824–831.

10. Martynova, O.I., et al. Povedenie produktov termoliza organicheskikh veshchestv v dvukhfaznoy oblasti: kipyashchaya voda — ravnovesnyy nasyshchennyy par. [Behavior of thermolysis products of organic substances in two-phase region: boiling water – equilibrium saturated vapor.] Thermal Engineering, 1997, no. 6, pp. 8–11 (in Russian).

11. Korovin, V.A., et al. Termicheskoe razlozhenie organicheskikh primesey proizvodstvennykh kondensatov. [Thermal decomposition of organic impurities of production condensates.] Energetik, 1980, no. 5, pp. 24–25 (in Russian).

12. Khodyrev, B.N., et al. Produkty termoliza organicheskikh soedineniy i ikh sorbtsiya ionitami BOU. [Products of organic compounds thermolysis and their sorption by CPP ion-exchangers.] Thermal Engineering, 1998, no. 7, pp. 20–24 (in Russian).

13. Petrova T.I., et al. O povedenii organicheskikh primesey v trakte teplovoy elektrostantsii s barabannymi kotlami. [On behavior of organic impurities in the tract of thermal power plant with drum boilers.] Thermal Engineering, 1995, no. 7, pp. 20–25 (in Russian).

14. Vidoykovich, S. Issledovanie povedeniya sul'fatov v parovodyanom trakte energeticheskikh ustanovok: dis. … kand. tekhn. nauk. [Investigation of sulfates behavior in steam-water circuit of power plants: Cand. Sci. (Eng.) diss.] Moscow, 2001,114 p. (in Russian).

15. Petrova, T.I. Teoreticheskiy analiz i razrabotka rekomendatsiy dlya optimizatsii vodno-khimicheskikh rezhimov teplovykh elektrostantsiy: dis. … d-ra tekhn. nauk. [Theoretical analysis and development of recommendations for optimization of water-chemical regimes of thermal power plants: Dr. Sci. (Eng.) diss.] Moscow, 2001, 46 p. (in Russian).

16. Svoboda, R., et al. Organic Impurities and Organic Conditioning Agents in the Steam/Water Cycle: A Manufacturer´s Point of View. Interaction of Organics and Organics Cycle Treatment Chemicals with Water, Steam and Materials: Int. Conference in Stuttgart, 4–6 October 2005, pp. 7.15–7.29.

17. Dooly, R.-B. Fossil plant cycle chemistry and availability problems. Cycle chemistry symposium: Proc. Midrand: ECOM; EPRI, 1994, pp. 22–25.

18. RD 153-34.1-37.532.4-2001. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya k sis-temam khimiko-tekhnologicheskogo monitoringa vodno-khimicheskikh rezhimov teplovykh elektrostantsiy. [RD 153-34.1-37.532.4-2001. General technical requirements for the systems of chemical-technological monitoring of water-chemical regimes of thermal power plants.] RAO UES of Russia. Moscow: ZAO “Energy Technologies”, 2002, 40 p. (in Russian).

19. Larin, B.M., Larin, A.B., Sorokina, A.Ya. Normy kachestva vodnogo teplonositelya i otraslevoy standart po vodopodgotovke i vodnomu rezhimu na TES. [Quality standards of water coolant and the industry standard for water treatment and water regime at TPPs.] Energy Saving and Water Treatment, 2015, no. 4 (96), pp. 56–60 (in Russian).

20. Water-tube boilers and auxiliary installation. European standard EN 12952-12: 2003. Part 12: Requirement for boiler feed water and boiler water quality. European committee for standardization. Brussel: CEN, 2003, 17 p.

21. VGB-Standard. Feed water, Boiler Water and Steam Quality for Power Plants. Industrial Plants. Ed. VGB Power Tech E.V. 3rd edition. Essen: Verlag technisch-wissenschaftlicher Schriften, 2011, 111 p.

22. Michal, A.-S., Kevin, J.-S. Minimizing levels of Volatile Organic Acids and Carbon Dioxide in Steam. Water circuits: Proc. Int. Conf. Interaction of Organic and Organic Cycle Treatment Chemicals with Water, Steam. Stuttgart, 2005, pp. 115–119.

23. Weiman, A.B., Malakhov, I.A. Sposob kontrolya za soderzhaniem korrozionno-opasnykh organicheskikh soedineniy v vodoparovom trakte teplovogo energobloka: patent 2231778 Ros. Federatsiya: G01N 27/06. [Method for monitoring corrosive organic compounds content in water-steam circuit of thermal power unit.] Patent RF, no. 2231778, 2004 (in Russian).

24. Fedoseev, B.S. Sovremennoe sostoyanie vodopodgotovitel'nykh ustanovok i vodno-khimicheskikh rezhimov TES. [Current state of water treatment plants and water-chemical regimes of TPPs.] Thermal Engineering, 2005, no. 7, pp. 2–9 (in Russian).

25. Martynova, O.I. Povedenie organiki i rastvorennoy uglekisloty v parovodyanom trakte elektrostantsiy. [Behavior of organics and dissolved carbon dioxide in steam-water circuit of power plants.] Thermal Engineering, 2002, no. 7, pp. 67–70 (in Russian).

26. Shcherbinina, S.D., Korovin, V.A., Kovalev, I.B. Ustanovka dlya opredeleniya potentsial'no kislykh organicheskikh veshchestv v vozvratnykh kondensatakh TETs. [Installation for determination of potentially acidic organics in return condensates of CHP.] Gronskiy, R.N., ed. Vodnyy rezhim barabannykh kotlov i isparitel'nykh ustanovok: sb. nauch. tr. [Water regime of drum boilers and evaporative plants: coll.of sci.papers.] Moscow: Energoatomizdat, 1990, pp. 41–46 (in Russian).

27. Shcherbakov, V.N. Nasos-dozator: patent na poleznuyu model' 140067 Ros. Federatsiya: F04B 13/00. [Flow-control pump.] Utility Patent RF, no. 140067, 2014 (in Russian).

28. Timrot, D.L., et al. Konduktometricheskiy datchik: a.s. 958943 SSSR: G01N 27/02. [Conductivity sensor.] Authorship Certificate USSR, no. 958943, 1982 (in Russian).

29. Shcherbakov, V.N. Sovershenstvovanie konduktometricheskogo kontrolya kachestva kondensata para pri termicheskoy ochistke vod. [Improving conductometric quality control of steam condensate under thermal water treatment.] Vestnik of DSTU, 2013, vol. 13, no. 3/4 (72/73), pp. 117–124 (in Russian).

30. Shcherbakov, V.N., Vlaskov, G.A. Elektroliticheskie svoystva rastvorov ammiaka i konduktometricheskiy kontrol' kachestva teplonositelya TES pri vysokikh temperaturakh i davleniyakh. [Aqua ammonia electrolytic character and TPP coolant conductometric quality control under high temperatures and pressures.] Vestnik of DSTU, 2013, vol. 13, no. 7/8 (75), pp. 140–147 (in Russian).

31. Shcherbakov, V.N. Issledovanie elektrofizicheskikh svoystv vodnykh teplonositeley pri vysokikh parametrakh: dis. … kand. tekhn. nauk. [Investigation of electrophysical properties of water coolants at high parameters: Cand. Sci. (Eng.) diss.] Moscow, 1980, 204 p. (in Russian).

32. Grishin, A.A. Sovershenstvovanie tekhnologii obrabotki vody, zagryaznennoy organicheskimi veshchestvami, na teplovykh elektrostantsiyakh: dis. … kand. tekhn. nauk. [Development of technology of treating water contaminated with organics at thermal power plants: Cand. Sci. (Eng.) diss.] Moscow, 2004, 185 p. (in Russian).

33. Shcherbakov, V.N., et al. Katatermometr: patent na poleznuyu model' 154 875 Ros. Federatsiya: G01N 27/02. [Catathermometer.] Utility Patent RF, no. 154 875, 2015 (in Russian).

34. Shcherbakov, V.N. Vikharev, S.V. Konduktometricheskiy signalizator urovnya peny v isparitelyakh: patent na poleznuyu model' 115491 Ros. Federatsiya : G01N 27/02. [Conductometric foam level indicator in evaporators.] Patent RF, no. 115491, 2012 (in Russian).

35. Shcherbakov, V.N., Vlaskov, G.A. Ustroystvo dlya opredeleniya urovnya i tolshchiny sloya peny v isparitelyakh: patent na poleznuyu model' 153624 Ros. Federatsiya: G01F 23/24 [Device for determining level and thickness of foam layer in evaporators.] Utility Patent RF, no. 153624, 2015 (in Russian).

36. Shcherbakov, V.N. Konduktometricheskiy signalizator nalichiya zhidkosti v pare: patent na poleznuyu model' 95403 Ros. Federatsiya: G01N 27/02. [Conductivity indicator for liquid occurrence in steam.] Utility Patent RF, no. 95403, 2010 (in Russian).

Поступила в редакцию 22.03.2017
Сдана в редакцию 23.03.2017
Запланирована в номер 07.09.2017

Received 22.03.2017
Submitted 23.03.2017
Scheduled in the issue 07.09.2017

Об авторах:

Щербаков Владимир Николаевич,
доцент кафедры «Гидравлики, гидропневмоавтоматики и тепловых процессов» Донского государственного технического университета (РФ, 344000 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5682-3792, vladnik48@aaanet.ru

Полешкин Максим Сергеевич,
доцент кафедры «Гидравлики, гидропневмоавтоматики и тепловых процессов» Донского государственного технического университета (РФ, 344000 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5364-1106, poleshkin.maks@gmail.com

Антоненко Владимир Ильич,
доцент кафедры «Гидравлики, гидропневмоавтоматики и тепловых процессов» Донского государственного технического университета (РФ, 344000 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7490-5916, viantonen@mail.ru

Authors:

Shcherbakov, Vladimir N.,
associate professor of the Hydraulics, Hydropneumoautomation and Heat Processes Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), Cand.Sci. (Eng.), associate professor,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5682-3792, vladnik48@aaanet.ru

Poleshkin, Maxim S.,
associate professor of the Hydraulics, Hydropneumoautomation and Heat Processes Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), Cand.Sci. (Eng.), associate professor,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5364-1106, poleshkin.maks@gmail.com

Antonenko, Vladimir I.,
associate professor of the Hydraulics, Hydropneumoautomation and Heat Processes Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), Cand.Sci. (Eng.), associate professor,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7490-5916, viantonen@mail.ru